

**К. И. Луговая<sup>1\*</sup>, М. А. Жиякова<sup>1,2</sup>,  
Р. И. Петров<sup>1</sup>, А. О. Слукина<sup>1</sup>, А. Ю. Жияков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

<sup>2</sup> Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург

\*k.i.lugovaya@urfu.ru,

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук А. А. Попов

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УПОРЯДОЧЕНИЯ В СПЛАВЕ Ti–17Al**

Исследованы процессы образования упорядоченной фазы  $Ti_3Al$  ( $\alpha_2$ -фазы) в сплаве системы Ti–Al в зависимости от режима термической обработки.

*Ключевые слова:* титановые сплавы, упорядочение, интерметаллиды.

**K. I. Lugovaya, M. A. Zhilyakova,  
R. I. Petrov, A. O. Slukina, A. Y. Zhilyakov**

## **INVESTIGATION OF MECHANISMS OF ORDERING IN ALLOY Ti–17Al**

The processes of formation of the ordered phase of  $Ti_3Al$  ( $\alpha_2$ -phase) in the Ti–Al system alloy are investigated as function of the heat treatment.

*Key words:* titanium alloys, ordering, intermetallics.

**Ж**аропрочные титановые сплавы, которые используются в промышленности, обычно содержат алюминий, и его количество обычно не превышает 8–9 мас. %. Данное ограничение обусловлено образованием фазы  $Ti_3Al$  ( $\alpha_2$ -фаза), возникающей в сплавах, содержащих более 6 % Al. Известно, что выделяющаяся в сплаве фаза  $Ti_3Al$  является упорядоченной (структурный тип  $DO_{19}$ ) и может повышать характеристики жаропрочности, при этом понижая пластические свойства за счет блокировки дислокаций этими частицами [1]. Однако в зависимости от механизма превращения влияние на механические свойства может изменяться. При образовании дисперсных частиц упорядоченной  $\alpha_2$ -фазы, осуществляющемся как гетерогенное превращение по механизму зарождения и роста, вязкопластические характеристики сплава находятся на низком уровне, в то время как образование двухфазной

структуры по гомогенному механизму с образованием антифазных границ (АФГ) не приводит к существенному их снижению [2].

Согласно результатам предыдущих исследований [3], после охлаждения сплава Ti–26Al с 1200 °С в структуре наблюдаются фрагменты антифазных границ, а на электронограммах присутствуют рефлексы  $\alpha_2$ -фазы. Проведение старения закаленных образцов сплава с меньшим содержанием алюминия при температуре 500 °С в течение 100 и 150 ч приводит к формированию дисперсных частиц в структуре. В результате проведения старения по данному режиму на микроэлектронограммах наблюдали более яркие рефлексы  $\alpha_2$ -фазы. Старение сплава в течение 100 ч приводит к увеличению количества дисперсных частиц  $\alpha_2$ -фазы (рис. 1, а), но не приводит к значительному изменению их размера при различных обработках, проведенных в [4], образование данных частиц также происходит по механизму зарождения и роста. Последующая термообработка с закалкой от 950 °С и старением при 500 °С длительностью 150 ч не приводит к значительному росту частиц  $\alpha_2$ -фазы (рис. 1, б). Средние размеры частиц после данной обработки достигают 10–20 нм.

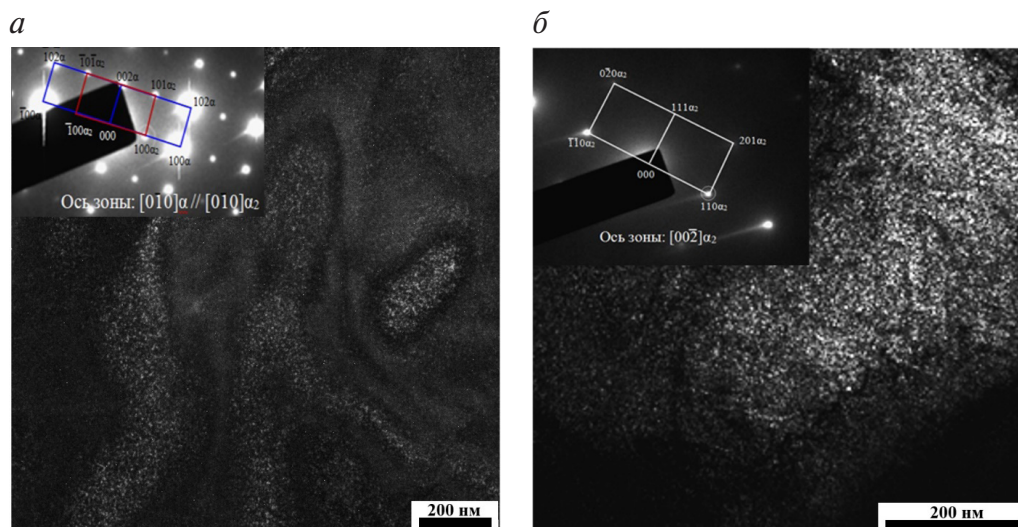


Рис. 1/ Микроструктура сплава Ti–17Al после высокотемпературной обработки при 950 °С с выдержкой 1 ч и старением при 500 °С с выдержками:

а — 100 ч; б — 150 ч

Установлено, что в сплаве Ti–17Al (ат. %) образование частиц упорядоченной  $\alpha_2$ -фазы в процессе старения после закалки происходит как фазовое превращение по механизму зарождения и роста. Размер формирующихся частиц увеличивается с увеличением времени выдержки и температуры. Признаков гомогенного  $\alpha \rightarrow \alpha_2$ -превращения не обнаружено.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-13-00220).*

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Influence of the structural state on creep resistance of alloy Ti–5Al / T. N. Kochetkova [et al.] // Physics of Metals and Metallography. 1990. V. 69, i. 4. P. 176–182.
- 2 Попов А. А., Попова М. А., Россина Н. Г. The effect of alloying on the ordering processes in near-alpha titanium alloys // Materials Science and Engineering: A. 2013. Vol. 564. P. 284–287.
- 3 Попова М. А., Россина Н. Г., Петрова К. И. Precipitation of  $\alpha_2$ -Phase in Titanium-Aluminum Alloys // Metal Science and Heat Treatment. 2015. V. 57, i. 7–8. P. 469–472.
- 4 Исследование механизма выделения  $\alpha_2$ -фазы в двухфазном сплаве системы титан–алюминий / А. А. Попов [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. 2018. № 5 (755). С. 31–34.